

小波细节信息的 LSB 隐写分析算法

周治平¹⁾ 康辉¹⁾ 林家骏²⁾ 纪志成¹⁾

¹⁾(江南大学通信与控制工程学院,无锡 214122) ²⁾(华东理工大学信息科学与工程学院,上海 200237)

摘要 为了准确地估计出隐藏图像的嵌入率,利用 LSB 隐写对图像小波细节信息影响较大这一特点,首先给出了图像的小波细节信息和小波细节信息能量的定义,同时利用 LSB 隐写图像计算出其原始图像的小波细节信息能量;然后根据隐写图像与原始图像的小波细节信息能量,估计出 LSB 隐写图像的嵌入率。实验证明,该方法在隐藏图像嵌入率不是很低的情况下,能够比较准确地估计出隐藏图像的嵌入率。

关键词 小波细节信息 隐写分析 LSB 隐写

中图法分类号:TP309 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)06-1090-04

A LSB Steganalysis Algorithm Based on Image Wavelet Detail Information

ZHOU Zhi-ping¹⁾, KANG Hui¹⁾, LIN Jia-jun²⁾, JI Zhi-cheng¹⁾

¹⁾(College of Communication and Control Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122)

²⁾(College of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

Abstract According to the characteristic of which LSB steganography can influence the image wavelet detail information, this article presents the definition of images, with wavelet detail information and the wavelet detail information energy. We calculated the wavelet detail information energy of carrier image according to the secret image, and estimated LSB steganography rate using two image wavelet detail information energy. The experiment proved that this method is efficient in estimating LSB steganography when the embedding rate is not too small.

Keywords wavelet detail information, steganalysis, LSB steganography

1 引言

近年来,在隐写技术不断发展的同时,隐写分析技术也取得了不少的进展,如今已出现了一系列有针对性的隐写分析方法。由于采用 LSB (least significant bit) 进行隐写的方法得到了最为广泛的应用,因此针对 LSB 隐写的隐写分析成果也相应较多。针对图像的隐写分析包括隐藏检测和信长估计两部分。Westfeld 等人提出了针对 PoV (pair of values) 嵌入技术的直方图分析方法,该方法是利用信息嵌入后每一对像素的灰度值、颜色指数、变换系数数值分布趋于均匀分布的性质设计 χ^2 检测算法来

进行隐写分析^[1],该方法适合于对连续嵌入情况下的隐写方法进行分析。Fridrich 等人提出了一种利用图像空间相关性导出灵敏的双重统计量的 RS (regular/singular) 隐写分析方法^[2]。由于图像的 LSB 可以在一定程度上由其他位面进行预测,而篡改 LSB 则会减弱这种可预测性,这一特性是 RS 分析方法的基本原理,RS 分析方法主要是用于分析空域的 LSB 隐写。另外,Fridrich 等人还根据在 DCT 量化系数上进行 LSB 隐写会增加图像块效应来进行隐写分析^[3],即通过判断 DCT 量化系数直方图是否有收缩现象来进行隐写分析^[4]。Harmsen 等人提出了一种基于高价统计量的针对调色板图像的隐写分析方法^[5],但是该方法只能分析彩色图像。Ker

收稿日期:2006-10-23;改回日期:2006-12-06

第一作者简介:周治平(1962~),男,江南大学副教授。2007年获华东理工大学信息与工程学院博士学位。主要研究方向为信息安全、图像与信号处理等。E-mail:zzp@jiangnan.edu.cn

对 Harmsen 等人提出的隐写方法进行了改进,即利用直方图特性函数提出了可应用于灰度图像的 LSB 隐写分析方法^[6]。另外, Ker 在文献[7]中借助于网络使用大量图像对 LSB 隐写分析做了更深入的研究。

本文利用 LSB 隐写对图像小波细节分量^[8]影响较大这一特点,首先定义了小波细节信息能量,并结合 RS 隐写分析方法中的正翻转技术对 LSB 隐写方法进行隐写分析,进而估计秘密信息的嵌入长度。

2 图像小波细节信息与能量

如果将图像中的两个相邻像素值 $\{x_i, x_{i+1}\}$ 看作小波分析中的信号 $\{x_1, x_2\}$,则图像中相邻像素的小波平均信息与细节信息有如下定义:

定义 1 设 $\{x_i, x_{i+1}\}$ 是图像中相邻像素的像素值,则这两个像素的小波平均信息与细节信息为

$$a = \frac{(x_i + x_{i+1})}{2}, d = \frac{(x_i - x_{i+1})}{2} \quad (1)$$

其中, a 称为图像中相邻像素的小波平均信息, d 称为图像中相邻像素的小波细节信息。

由定义 1 可以看出,图像中相邻像素的小波平均信息代表了图像的主要信息,而小波细节信息则为图像的次要信息。在 LSB 隐写中,若对像素值的 LSB 位进行改变,则改变前后图像两个像素的小波平均信息与细节信息的差值范围为 $-2 \leq \Delta_a \leq 2$, $-2 \leq \Delta_d \leq 2$ 。由于图像中相邻像素值比较接近,这样图像中两个像素的小波平均信息远大于零,而细节信息则接近于零,因此 LSB 隐写对相邻像素的小波平均信息 a 的影响较小,而对细节信息 d 的影响较大。

考虑上述原因,可以用图像的小波细节信息对 LSB 隐写方法进行隐写分析。为此定义图像的小波细节信息能量如下:

定义 2 图像的小波细节信息能量 W 定义为

$$W = \sum |d|^2 = \sum \left| \frac{x_i - x_{i+1}}{2} \right|^2 \quad (2)$$

式中 x_i, x_{i+1} 表示图像中相邻的两个像素的像素值。图像小波细节信息能量可反映出图像相邻像素值的相关性,由定义 2 可看出,当 x_i, x_{i+1} 越接近时, W 越趋于零,反过来, W 越小,也就说明图像中的相邻像素值越接近。由于嵌入信息后会破坏图像的这种相关性,从而使图像的小波信息能量变大。

3 隐写分析算法

3.1 基本原理

如果用 x_i, x_{i+1} 表示原始图像中两个相邻像素的像素值, \hat{x}_i, \hat{x}_{i+1} 表示经 LSB 隐写后对应的隐藏图像的像素值,则由定义 1、2 可得,原始图像的小波细节信息与小波细节信息能量(如式(1)、式(2)所示)。相应地,隐藏图像的小波细节信息与小波细节信息能量为

$$\hat{d} = \frac{(\hat{x}_i - \hat{x}_{i+1})}{2} \quad (3)$$

$$\hat{W} = \sum |\hat{d}|^2 = \sum \left| \frac{\hat{x}_i - \hat{x}_{i+1}}{2} \right|^2 \quad (4)$$

隐藏图像与原始图像的小波细节信息的能量差值为

$$\begin{aligned} \hat{W} - W &= \sum |\hat{d}|^2 - \sum |d|^2 \\ &= \sum \left(\left| \frac{\hat{x}_i - \hat{x}_{i+1}}{2} \right|^2 - \left| \frac{x_i - x_{i+1}}{2} \right|^2 \right) \\ &= \frac{1}{4} \sum (\hat{x}_i - x_i)^2 - \frac{1}{2} \sum (\hat{x}_i - x_i) \times \\ &\quad (\hat{x}_{i+1} - x_{i+1}) + \frac{1}{4} \sum (\hat{x}_{i+1} - x_{i+1})^2 + \\ &\quad \frac{1}{2} \sum (\hat{x}_i - x_i) \times (x_i - x_{i+1}) - \\ &\quad \frac{1}{2} \sum (\hat{x}_{i+1} - x_{i+1}) \times (x_i - x_{i+1}) \end{aligned} \quad (5)$$

假设嵌入的秘密信息是均匀分布的 0、1 序列,且与原始图像相互独立,则 $\hat{x}_i - x_i$ 等于 0 和 1 的概率分别为

$$P(\hat{x}_i - x_i) = 0 = P(\hat{x}_{i+1} - x_{i+1}) = 0 = \frac{1}{2} \quad (6)$$

$$P(\hat{x}_i - x_i) = \pm 1 = P(\hat{x}_{i+1} - x_{i+1}) = \pm 1 = \frac{1}{4} \quad (7)$$

那么式(5)的数学期望为

$$\begin{aligned} E(W - \hat{W}) &= E \left(\frac{1}{4} \sum (\hat{x}_i - x_i)^2 - \frac{1}{2} \sum (\hat{x}_i - x_i) \times \right. \\ &\quad \left. (\hat{x}_{i+1} - x_{i+1}) + \frac{1}{4} \sum (\hat{x}_{i+1} - x_{i+1})^2 + \right. \\ &\quad \left. \frac{1}{2} \sum (\hat{x}_i - x_i) \times (x_i - x_{i+1}) - \right. \\ &\quad \left. \frac{1}{2} \sum (\hat{x}_{i+1} - x_{i+1}) \times (x_i - x_{i+1}) \right) \\ &= \frac{1}{4} E \left(\sum (\hat{x}_i - x_i)^2 \right) + \end{aligned}$$

$$\frac{1}{4}E\left(\sum (\hat{x}_{i+1} - x_{i+1})^2\right) \quad (8)$$

假设图像的大小为 $m \times n$, 嵌入秘密信息的长度为 $l, l \leq m \leq n$ 。则将式(6)、式(7)代入式(8), 得

$$\begin{aligned} E(\hat{W} - W) &= \frac{1}{4}E\left(\sum_{i=1}^l (\hat{x}_i - x_i)^2\right) \\ &\quad + \frac{1}{4}E\left(\sum_{i=1}^l (\hat{x}_{i+1} - x_{i+1})^2\right) \\ &= \frac{1}{4}\sum_{i=1}^l (E(\hat{x}_i - x_i)^2) + \\ &\quad \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{l-1} (E(\hat{x}_{i+1} - x_{i+1})^2) \\ &= \frac{1}{4}\left(1 \times \frac{1}{4} + 1 \times \frac{1}{4}\right) \times l + \\ &\quad \frac{1}{4}\left(1 \times \frac{1}{4} + 1 \times \frac{1}{4}\right) \times (l - 1) \\ &= \frac{1}{4}\left(l - \frac{1}{2}\right) \approx \frac{l}{4} \quad (9) \end{aligned}$$

由于实际的 $l \gg \frac{1}{2}$, 因此式(9)中的近似等于是成立的。这样如果能够得到一幅图像的原始图像的小波细节信息能量, 就可以估计出图像中含有秘密信息的长度, 同时也是对图像进行隐写分析的过程。

3.2 嵌入信息量的估计

在 RS 隐写分析方法中提到了正翻转的概念^[2], 它把 $2i$ 与 $2i + 1$ 的相互变化定义为正翻转 F_1 , 即 $F_1: 0 \leftrightarrow 1, 2 \leftrightarrow 3, \dots, 254 \leftrightarrow 255$ 。而在估计原始图像的小波细节信息能量时, 就可以将 LSB 隐写看作是像素间的正翻转。

在秘密信息服从 0, 1 均匀分布的情况下, 当有信息长度为 l 的秘密信息嵌入到大小为 $m \times n$ 的图像 I 中时, 则图像 I 中有 $\frac{l}{2}$ 个像素发生正翻转, 翻转率为

$$r = \frac{l/2}{m \times n}$$

记原始图像 I 的小波细节信息能量为 $W(0)$, 嵌入秘密信息后图像 \hat{I} 的小波细节信息能量为 $W\left(\frac{l/2}{m \times n}\right)$, 而根据上节中的隐写分析原理, 则有

$$W(r) - W(0) = \frac{l}{4} = \frac{m \times n}{2} \times r \quad (10)$$

同理, 若对嵌入信息后图像 \hat{I} 进行一次完全的正翻转 F_1 , 其相对与原始图像 I 的翻转率为 $\hat{r} = 1 - r$, 则有

$$W(\hat{r}) - W(0) = \frac{m \times n}{2}(1 - r) \quad (11)$$

由式(9)、式(10)可得

$$W(0) = \frac{W(r) - W(\hat{r})}{2} + \frac{m \times n}{2} \quad (12)$$

在隐写分析实践中, 定义图像的嵌入率 R 为嵌入的二进制比特数与载体图像像素个数之比, 则有 $R = 2r$, 因此, 可以通过式(10)计算出待分析图像中的秘密信息嵌入率。

3.3 实验分析

为验证本文算法的效果, 本文用 4 张测试图片进行了实验分析, 实验中用 LSB 隐写方法嵌入秘密信息到如图 1 所示的 4 张大小为 512×512 的灰度图片中, 分别生成嵌入率为 0%、5%、10%、20%、40%、60%、80%、100% 的 32 张图片。

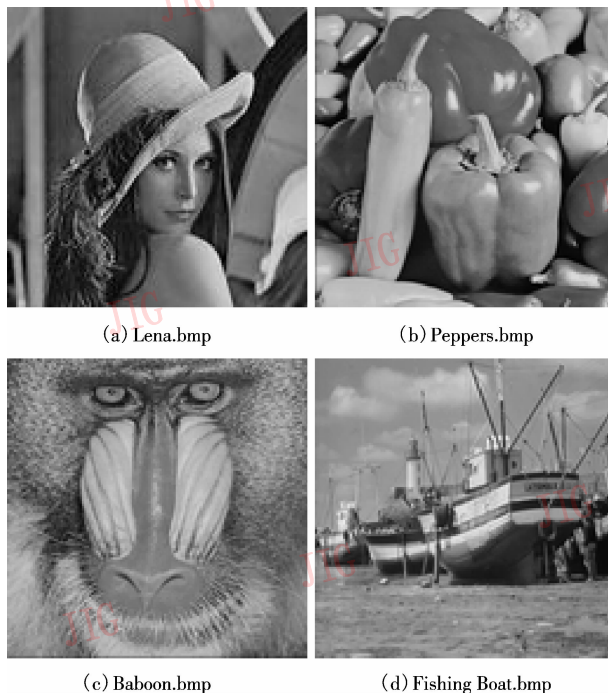


图 1 测试图片
Fig. 1 Test images

LSB 隐写分析实验主要是对用 LSB 方法嵌入秘密信息后的 32 张图片进行嵌入率的估计。为了得到更为准确的分析结果, 实验中图像小波细节信息分量取像素的水平、垂直、和对角线 3 个小波细节信息分量的平均值, 相应的图像小波细节信息能量也取像素的水平、垂直、和对角线 3 个小波细节信息能量的平均值, 分析时, 首先按照式(12)计算原始图像的小波细节信息能量, 然后代入式(10)计算出待分析图像的正翻转率, 而图像的正翻转率的 2 倍则是待分析图像的嵌入率。表 1 是 32 张图片的估

计嵌入率。

从表 1 可看出,当嵌入率为 0 时,由于估计出的嵌入率多为 0 附近的负值,因此,当一张图像估计的嵌入率为负时,就可以认为这个图像中没有利用 LSB 方法嵌入秘密信息。当有信息嵌入时,则估计出来的嵌入率总是在真实嵌入率附近波动,并与真实嵌入率相差不大。估计值接近真实值而不等于真实值的原因是,由于隐写分析过程中假设嵌入的秘密信息是均匀分布的,而实际的嵌入信息会和假设情况有些差别,从而就导致了估计的嵌入率很难准确地等于真实嵌入率,而只能近似等于真实嵌入率。

表 1 嵌入率估计

Tab. 1 Estimate of embedding rate

LSB 嵌入率 (%)	不同图片的估计嵌入率(%)			
	Lena	Peppers	Baboon	Fishing Boat
0	-1.12	1.71	-1.12	-0.786
5	2.70	6.73	4.32	3.22
10	8.38	12.18	9.77	7.74
20	18.44	22.13	19.90	17.08
40	38.44	42.10	44.92	35.64
60	56.76	58.32	59.76	54.08
80	82.16	82.26	83.48	77.18
100	100.54	98.58	102.14	94.42

4 结 论

本文对 LSB 隐写前后图像相邻像素小波信息的能量进行了分析,发现 LSB 隐写对图像小波细节分量影响较大。因此利用这一特点,给出了图像的

小波细节信息和小波细节信息能量的定义,并应用图像的小波细节信息能量估计出 LSB 隐写图像的嵌入率。实验证明,该 LSB 隐写分析方法不仅具有较好的隐写分析效果,而且对图像中秘密信息长度的估计较为准确。

参考文献 (References)

- Westfeld A, Pfitzmann A. Attacks on stegano-graphic systems [A]. In: Andreas Pfitzmann (Ed.): Proceedings of Information Hiding Third International Workshop [C], Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2000, **1787**:61 ~ 76.
- Fridrich J, Goljan M. Practical steganalysis of digital images-state of the art [A]. In: Proceedings of SPIE Photonics West, Security and Watermarking of Multimedia Contents [C], San Jose, California, USA. 2002, **4675**:1 ~ 13.
- Fridrich J, Goljan M, Hoge D. Attacking the Outguess [A]. In: Proceedings of the ACM Workshop on Multimedia and Security [C], Juan-les-Pins, France, 2002:3 ~ 6
- Fridrich J, Goljan M, Hoge D. Steganalysis of JPEG image: breaking the F5 algorithm [A]. In: Proceedings of 5th Information Hiding Workshop [C], Noordwijkerhout, The Netherlands, 2002, **2578**:310 ~ 323.
- Harmsen J, Pearlman W. Steganalysis of additive noise modelable information hiding [A]. In: Proceedings of SPIE Electronic Imaging [C], Santa Clara, CA, USA, 2003, **5020**:131 ~ 142.
- Ker A D. Steganalysis of LSB matching in grayscale images [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, **12**(6):441 ~ 444.
- Ker A D. Improved detection of LSB stegano- graphy in grayscale images [A]. In: Proceedings of 6th Information Hiding Workshop [C], Toronto, Canada, 2004, **3200**:97 ~ 115.
- Sun Yan-Kui. Wavelet Ananlysis and Applicat [M]. Beijing: Machine Press, 2005. [孙延奎. 小波分析及其应用. 北京: 机械工业出版社. 2005.]